## ローレンツ TEM 法による強磁性ナノワイヤの磁化分布解析

物質 · 材料研究機構 長井拓郎 木本浩司 竹口雅樹 松井良夫



Fig. 1 (a) インフォーカス像, (b) (c) EDS マッピング像((b) Mn K; (c) Fe K), (d) (e) ローレンツフレネル像 ((d) オーバーフォーカス  $\Delta f = -0.30 \text{ mm}$ ; (e) アンダーフォーカス  $\Delta f = 0.30 \text{ mm}$ ), (f) マイクロマグネテ ィックシミュレーション結果(上図および下図の色はそれぞれ磁化の面内および面直成分を表す),(g)TIE により解析されたボルテックス磁壁の面内磁化分布.

スピントロニクスの中心的役割を担う強磁性ナノワ イヤでは、磁化が渦を巻くボルテックス磁壁が形成さ れることが報告されているが、この磁壁を直接観察し 詳細な磁化分布を解析した例は報告されていない. 我 々はローレンツ電子顕微鏡法および強度輸送方程式法 (TIE)を用いることでボルテックス磁壁内部の詳細な スピン構造を解明することに成功した(1).

パルスレーザー堆積法で作製したエピタキシャル薄 膜 試 料 [ La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>FeO<sub>3</sub> ( LSFO: 100 nm ) / La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub> MnO<sub>3</sub> (LSMO: 100 nm) / La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>FeO<sub>3</sub> (LSFO: 100 nm)/SrTiO3 基板]から FIB 加工を用いて断面試料を 作製し、これにより強磁性 La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>MnO<sub>3</sub> ナノワイ ヤ(100 nm×40 nm×10 µm)を得た. 強磁性 LSMO を反強磁性 LSFO で挟み込んだのは、ワイヤ側面を 境に平均内部ポテンシャルが変化しフレネル干渉縞が 形成されることを阻止するためである. インフォーカ スで観察された像(Fig. 1(a))では、LSMOとLSFO で散乱コントラストに差がないため両者を区別できな いが、Mn K 線の EDS マッピングにより LSMO ナノ ワイヤを明瞭に捉えることができる(Fig. 1(b)(c)).

この試料について80Kでワイヤ長手方向に交流消 磁したのち観察した一組のローレンツフレネル像を Fig. 1(d)(e)に示す. 磁気コントラストがアンダーフ ォーカス像とオーバーフォーカス像とで反転している とが確認できる. これらの像を用いて TIE 法によ り解析した強磁性ナノワイヤの面内磁化分布(Fig.1 (g))は、ボルテックス磁壁のスピン構造の特徴を明 瞭に示している. 中心に対して二回回転対称性をも ち、スピンの向きが大きく変化する領域が対角方向に 伸びる特徴が確認され, Landau-Lifshitz-Gilbert 方 程式を用いたマイクロマグネティックシミュレーショ ンの結果(Fig. 1(f))と一致した<sup>(1)</sup>.

本研究は,山田浩之氏,甲野藤真氏,有馬孝尚氏, 川崎雅司氏、十倉好紀氏との共同研究で得られた成果 である.

## 文 献

(1) T. Nagai, H. Yamada, M. Konoto, T. Arima, M. Kawasaki, K. Kimoto, Y. Matsui and Y. Tokura: Phys. Rev. B, 78(2008), 180414(R).

(2009年7月16日受理)

Lorentz TEM Analysis of Magnetization Distribution in a Ferromagnetic Nanowire; Takuro Nagai, Koji Kimoto, Masaki Takeguchi, Yoshio Matsui (National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: ferromagnetic nanowire, vortex domain wall, Lorentz TEM, transport-of-intensity equation (TIE) TEM specimen preparation: FIB with microsampling (10-40 kV, Ga<sup>3+</sup>)

TEM utilized: Hitachi HF-3000L (300 kV, Lorentz TEM), JEM-2100F (200 kV, EDS mapping)